

Transmission par satellite des hauteurs d'eau de l'Amazone et de ses affluents

Jacques CALLEDE (1), Lécy J. CLAUDINO (2), Vincente FONSECA (3)

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la coopération franco-brésilienne, les hydrologues de l'ORSTOM en association avec DCRH/DNAEE (4) ont participé à la réalisation en Amazonie d'un Réseau-pilote d'une vingtaine de stations qui utilise la télétransmission par satellite (système ARGOS) avec une station de réception installée à Brasília.

Ce réseau est opérationnel depuis mai 1985. Le traitement de la collecte se fait sur ordinateur, afin de valider ou de corriger chaque message.

Les résultats sont suffisamment fiables pour que DCRH/DNAEE envisage, dès maintenant, une extension du réseau.

MOTS-CLÉS : Amérique du Sud – Brésil – Amazone – Télétransmission par satellite – Réseau hydrométrique.

RESUMO

No contrato de cooperação franco-brasileiro, os hidrologos da ORSTOM= associados aos da DCRH/DNAEE realizaram na Amazônia uma rede piloto de umas vinte estações equipadas com sistema de teletransmissão via satélite (sistema ARGOS) com uma estação de recepção instalada em Brasília.

Esta rede tornou-se operacional depois de maio de 1985. O tratamento dos dados está sendo feito através de computador, afim de validar ou tratar cada mensagem.

Os resultados são suficientes para que a DCRH/DNAEE faça uma previsão para estender a rede.

PALAVRAS CHAVES : Brasil – Amazônia – Tele Transmissão via satélite – America do Sul – Rede hidrometrica.

ABSTRACT

SATELLITE TRANSMISSION OF WATER LEVELS OF THE RIVER AMAZON AND ITS TRIBUTARIES.

Within the framework of Franco-Brazilian cooperation, ORSTOM Hydrologists, jointly with the DCRH/DNAEE (4) have implemented a twenty station pilot network in the Amazon basin. This system uses satellite transmission (ARGOS system) with a user receiving station in Brasília.

This network has been operational since 1985, Data treatment is being effected through a computer, in order to validate or to correct each message.

The results have been good enough for the DCRH/DNAEE already to consider an extension of this network.

KEY-WORDS : South America – Brazil – Amazon – Satellite data transmission – Hydrometric network.

(1) Ingénieur de Recherche ORSTOM, Consultant permanent DCRH/DNAEE, Brasília.

(2) Ingénieur Électricien, Responsable des Programmes de télétransmission, DCRH/DNAEE, Brasília.

(3) Sous-directeur aux Relations internationales, ministère des Transports, Brasília.

(4) Voir la signification des sigles en annexe, page 110.

(The meaning of acronyms used in the paper is given page 110.)

L'Amazone, ce fleuve gigantesque, coulant à travers l'immensité de sa forêt... Qui n'a rêvé, chez les hydrologues, d'aller un jour voir de plus près cette fantastique voie d'eau et de participer à la recherche hydrologique amazonienne ! La télétransmission par satellite paraissait un outil bien adapté aux conditions particulières du bassin amazonien : l'implantation d'un réseau-pilote d'une vingtaine de stations hydrométriques, en attendant les débuts de plusieurs autres projets, tous à l'échelle brésilienne, représente une première étape riche d'enseignement.

1. HISTORIQUE

C'est à la fin de 1981 que les responsables du DCRH demandèrent à la Direction de l'ORSTOM de procéder à une démonstration de télétransmission au Brésil. Une telle opération, rendue possible par les accords de coopération existant entre le CNPq et l'Institut fut confiée à M. J. CALLÈDE. Deux missions s'inscrivaient dans ce cadre, le service ARGOS et la Société CEIS-Espace apportant par ailleurs leur aide pour le matériel nécessaire.

- La première mission réalisée en avril 1982 avait pour but d'installer une balise ARGOS sur une station hydrométrique existante, de recevoir la collecte via le GTS et d'étudier, avec des spécialistes du DCRH, les possibilités de télétransmission en Amazonie, en examinant toutes les solutions techniquement possibles : radio classique, radio via satellites, téléphonie. La station équipée fut celle de Resende, entre São Paulo et Rio de Janeiro.

Après une adaptation du limnigraphe local, l'opération était menée à bien, le système ARGOS fonctionnant normalement.

- La seconde mission eut lieu en octobre 1982. Là encore, une balise ARGOS était transportée par l'expert et CEIS-Espace avait prêté, cette fois, une station de réception directe. Le but de cette mission était d'installer, à Boa Vista (ville située au nord de Manaus), une balise équipée d'un clavier sur lequel l'observateur indiquerait, 2 fois par jour, la hauteur d'eau de la rivière relevée à l'échelle limnimétrique. C'était une solution simple pour s'affranchir de l'installation d'un limnigraphe. La mise en fonctionnement de la balise à clavier et la mise en route de la station de réception directe furent assurées sans difficultés.

Un rapport de mission publié [1] en novembre 1982 démontrait la parfaite possibilité d'utilisation du Système ARGOS sur un futur réseau de télétransmission hydrométrique en Amazonie.

Les missions ayant été concluantes, l'aide de la France, pour réaliser en coopération ce réseau, était demandée et acceptée. Les formalités administratives et les contraintes techniques étaient menées à bien : à la mi-84, les matériels étaient disponibles à l'Ambassade de France à Brasilia.

La participation française consiste en la fourniture d'une station de réception directe, de 23 balises, et des matériels annexes non fabriqués au Brésil, la mise à disposition d'un conseiller technique à plein temps, pour la mise en fonctionnement du matériel, la réalisation des logiciels informatiques, la formation du personnel technique et le perfectionnement technologique en la matière.

La participation brésilienne consiste principalement à assumer la part logistique du projet : fourniture de l'infrastructure hydrométrique équipée, mise à disposition des équipements informatiques, désignation du personnel à former.

2. POURQUOI LE SYSTÈME ARGOS EN AMAZONIE ?

Un réseau de télétransmission s'avérerait indispensable en Amazonie pour la connaissance, en temps réel, du régime instantané du bassin, ceci pour les besoins de l'agriculture, de la navigation, de la gestion des ouvrages hydro-électriques ou hydro-agricoles et aussi pour assurer, en temps utile, la sauvegarde des habitants en cas d'inondation.

Or les dimensions des bassins versants amazoniens sont loin d'être modestes :

- 4 618 746 km² pour l'Amazone à Obidos, la station hydrométrique la plus en aval ;
- 108 362 km² pour le Rio Ica, affluent du Rio Solimoes, lorsqu'il franchit la frontière Pérou/Brésil ;
- 97 023 km² pour le Rio Branco à Boa Vista.

En conséquence, les variations de niveau, bien que conséquentes (12 m de marnage entre les basses et les hautes eaux) sont très régulières d'un jour à l'autre : un seul relevé de hauteur d'eau est suffisant. Or le Système ARGOS, associé à une station de réception directe, permet environ 4 collectes/jour avec 2 satellites. Même avec 2 collectes/jour (cas où 1 seul satellite fonctionne) le Système ARGOS demeure performant.

Tout comme la télétransmission utilisant les satellites géostationnaires, les émetteurs au sol du Système ARGOS sont peu gourmands en énergie électrique : 50 mW. Les piles sèches peuvent être employées, également les panneaux solaires.

Par contre, le Système ARGOS utilise des émetteurs au sol qui n'ont pas d'horloge interne très précise, à l'opposé des Systèmes à satellite géostationnaire. Si l'horloge dérive, il faut immédiatement la remettre à l'heure, sinon on émet dans le créneau d'émission d'un autre utilisateur (tolérance : 30 secondes), ce qui, vu les distances à parcourir, est un sérieux obstacle à l'emploi du géostationnaire pour ce type de station. Pour ARGOS, rien de plus simple : on connecte l'émetteur à son antenne, aux capteurs et à l'alimentation.

La solution radio-électrique classique était à proscrire car devant travailler en ondes décimétriques d'où émetteurs multifréquences, chers et gourmands en énergie électrique.

Le téléphone, lui, nécessitait... une ligne téléphonique. En Amazonie, ce n'est pas très fréquent d'en avoir une à sa disposition aux abords d'une station hydrométrique !

En définitive, le Système ARGOS est apparu comme le mieux adapté au problème amazonien. Un seul défaut, la minceur de ses messages : 256 bits seulement. Mais c'était, dans le cas présent, amplement suffisant.

Un autre argument en faveur d'ARGOS : la future existence d'un satellite brésilien de collecte, qui travaillera dès 1989 sur orbite équatoriale basse (donc ce sera un satellite à défilement) et compatible avec les équipements ARGOS.

3. COMMENT FONCTIONNE LE SYSTÈME DE TÉLÉTRANSMISSION PAR SATELLITE

— 2 satellites tournent en 105 minutes autour de la Terre en passant successivement au Pôle nord puis au Pôle sud. Se déplaçant sur une orbite située à 850 km d'altitude, chaque satellite est, du fait de la rotation terrestre, en visibilité de tout point de la Terre au moins 2 fois par jour.

Entre autres équipements, le satellite possède, à bord, un récepteur ARGOS sur 403 Mhz et un ré-émetteur sur 137 Mhz. Un second circuit électronique, plus complexe, stocke les informations sur mémoire magnétique. Ce second circuit n'est pas utilisé pour le réseau amazonien.

— Un certain nombre d'émetteurs au sol, appelés « balises », émettent sur 403 Mhz, régulièrement toutes les 2 minutes, que le satellite soit en vue de l'émetteur ou non. Si le satellite est en vue, le message est reçu, puis retransmis à la station de réception directe.

— Une station de réception directe, reçoit, via le satellite sur 137 Mhz, les messages émis par les « balises », et retransmis chaque fois que le satellite est en visibilité de la station et de la « balise ». Actuellement la station est installée à Brasilia, au siège de DCRH où les messages reçus sont automatiquement écrits sur une imprimante et sur une unité magnétique. Elle peut recevoir l'ensemble des balises de l'Amérique du Sud [1].

4. DESCRIPTION DU RÉSEAU DE TÉLÉTRANSMISSION HYDROLOGIQUE EN AMAZONIE

Au 1^{er} juin 1986, 20 stations sont déjà en fonctionnement ; les trois dernières stations devant être installées au premier semestre 1987. La figure 1 indique leurs emplacements.

4.1. CARACTÉRISTIQUES COMMUNES (électronique et alimentation en énergie électrique)

Toutes les stations sont équipées d'une électronique ARGOS fabriquée par la Société CEIS-Espace, à Toulouse. La carte « émission » est du type 82, non localisable (matériel très classique). Par contre, la carte « interface » a été étudiée spécialement pour ce projet. Réalisée en logique « câblée », elle permet la mesure des paramètres suivants :

- limnigraphie : entrée en « parallèle » sur 16 bits ;
- contrôle du voltage des piles : 1 bit (il est à 0 si la tension est supérieure à un seuil réglable en atelier, à 1 si la tension est inférieure) ;
- 3 bits de contrôle « tout ou rien » : ils seront à 0 pour une tension inférieure à 0,5 V et à 1 pour une tension comprise entre 3,5 et 6 V ;

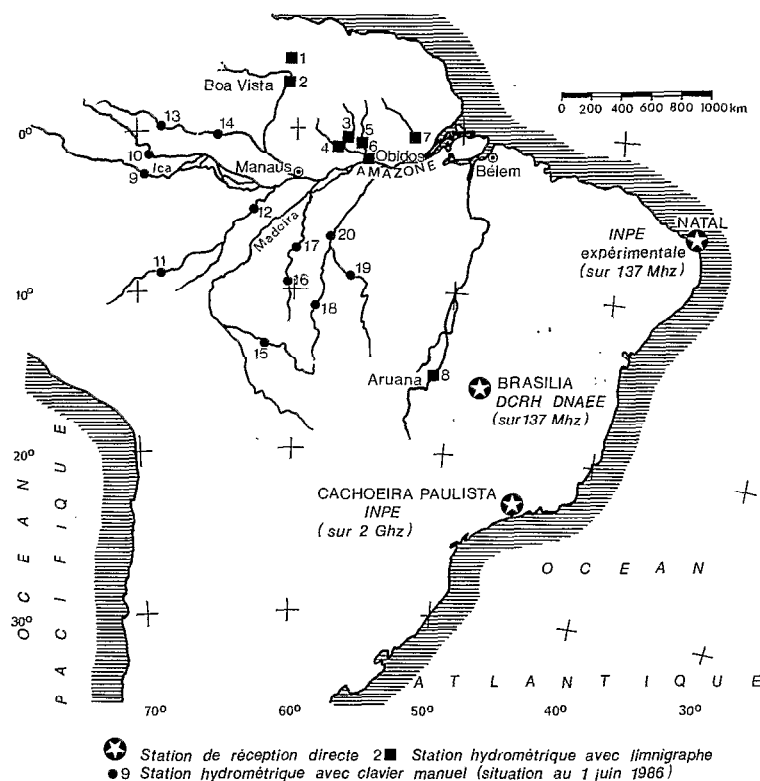


FIG. 1. - DCRH/DNAEE/MME. Le réseau de télétransmission par le système ARGOS en Amazonie

- pluviométrie : entrée des impulsions générées par un pluviographe à augets basculeurs et totalisation cumulée des impulsions, de 0 à 4 095 (la 4 096^e impulsion remet le compteur à 0) donc sur 12 bits.

Les 2 cartes sont contenues dans le classique coffret étanche de CEIS-Espace (photo 1).

L'électronique ne consommant que 50 mw, l'alimentation en énergie électrique se fait par piles sèches ; après divers essais nous avons retenu la pile RAY-O-VAC type 941, de 6 V, qui se trouve en vente partout au Brésil car elle sert pour alimenter les lanternes électriques. Sa faible capacité (20 Ah) nous conduit à réaliser le montage série parallèle de 3 fois 3 piles, donnant ainsi 18 V avec une capacité de 60 Ah (photo 2).

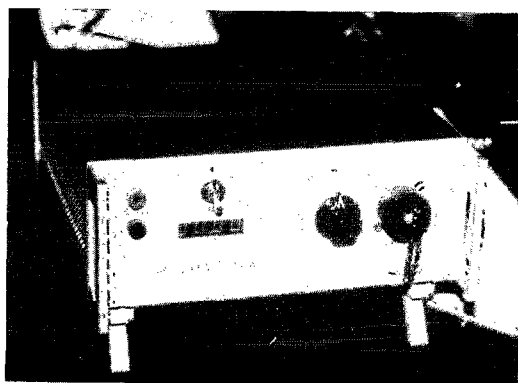
L'antenne d'émission est une classique CIT-Alcatel type AV402, utilisée ou non avec son plan de terre.

4.2. LES STATIONS AVEC LIMNIGRAPHERS

8 stations (photos 3, 4) sont équipées de limnigraphe, avec codeur digital relié à l'émetteur et transmettent automatiquement la hauteur d'eau sans aucune intervention de l'observateur de la station. Toutes ces 8 stations possèdent un limnigraphe LEUPOLD and STEVENS type A71. Cet instrument, qui remonte à 1911, peut paraître bien archaïque (à lui seul, le mouvement d'horlogerie est déjà un monument) mais il est d'une excellente fiabilité. Un détail intéressant réside dans la liaison flotteur-roue-contrepoids non par fil mais par ruban perforé. Bien sûr la roue est à picots. Il en résulte une absence de glissement et, détail bien pratique, le ruban est gradué. Un système de « pige » permet de lire directement sur le ruban la hauteur d'eau de la rivière et de comparer avec l'enregistrement et l'échelle limnimétrique (photo 5).

A l'intérieur du limnigraphe a été installé, facilement, l'excellent codeur SIGTAYCOD qui était fabriqué par la CSEE (photo 6). La sortie se fait sur un connecteur rond, 19 contacts, identique à celui équipant les balises.

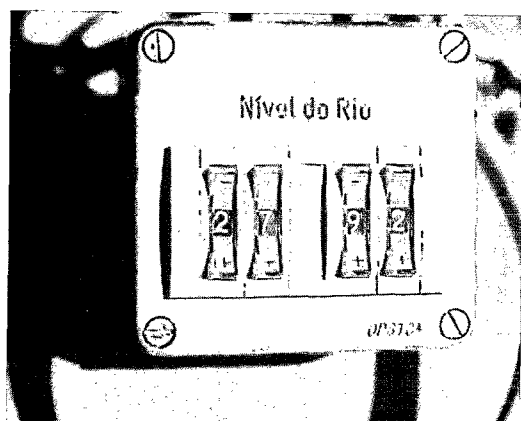
Afin de pouvoir ajuster la valeur du codeur à celle de la hauteur de l'eau (à chaque fois, 1 cm correspond à une unité du codeur) des transcodeurs (photo 7) conçus par J. CALLEDE, ont été construits. Ce codeur, qui travaille



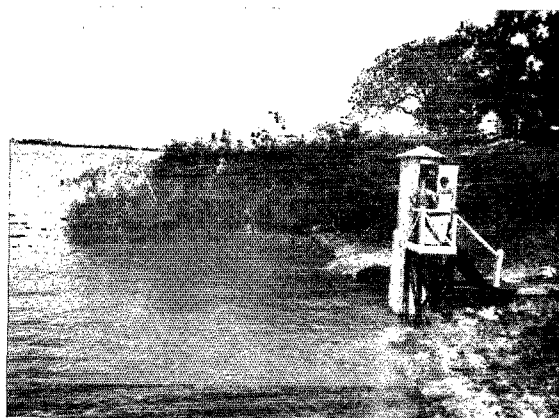
7



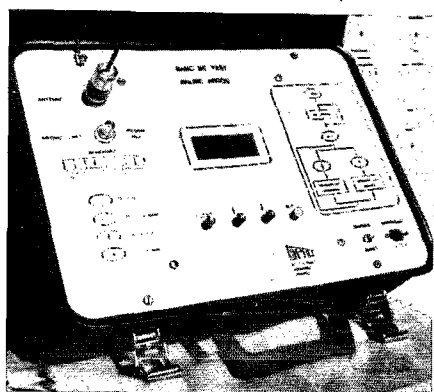
8



9



10



11

PHOTO 7. - Transcodeur Binaire-Décimal (fabrication ORSTOM).

PHOTO 8. - Station ARGOS à clavier.

PHOTO 9. - Clavier pour Balise ARGOS (fabrication ORSTOM).

PHOTO 10. - La Station hydrométrique d'Obidos, sur l'Amazone, en cours d'installation.

PHOTO 11. - Banc de test pour Balise ARGOS (fabrication CEIS-Espace, à Toulouse).

en code GRAY, a les mêmes avantages qu'un codeur en code BINAIRE PUR lorsqu'il est en dépassement de capacité. Le codeur fonctionne de 0 à 1023 : s'il est à 1023, une augmentation de 1 unité va le faire passer de 1023 à 0 et inversement. Ceci est très important car il est possible, et c'est ici le cas, de travailler avec un intervalle de codage allant de 0 à 10,23 m tout en ayant une variation d'eau annuelle beaucoup plus grande.

4.3. LES STATIONS AVEC CLAVIER

12 stations (photo 8), sans limnigraphe, sont équipées d'un clavier sur lequel l'observateur indique, 2 fois par jour, la hauteur d'eau de la rivière lue sur l'échelle.

Cette solution simple, à condition de disposer d'un bon observateur, évite le coût d'infrastructure d'un limnigraphe, surtout s'il doit être à floteur.

Le clavier (photo 9), conçu par J. CALLEDE, a été construit avec l'aide de M. FELTENS à l'atelier de Mécanique de ORSTOM/BONDY. Il est simplement constitué de 4 roues codeuses (fabrication CROUZET), chacune donnant, sur 4 bits, la valeur d'un chiffre en code BCD (binaire codé décimal).

La sortie du clavier est donc en « parallèle » sur 18 bits.

4.4. LA MESURE DE LA PLUVIOMÉTRIE ET AUTRES PARAMÈTRES

Il sera possible, lorsque les capteurs de pluie seront installés (à l'heure actuelle aucun n'est en place), de mesurer automatiquement, sur la totalité des stations, la pluie tombée entre 2 passages successifs du satellite. De même manière, à chacune de ces stations, d'autres paramètres pourront être mesurés dès que les capteurs nécessaires seront mis en place et reliés à la balise, avec, éventuellement, une modification de la carte « interface ».

4.5. L'INSTALLATION DES STATIONS

Les premières stations ont commencé à fonctionner dès juin 1984 avec des résultats très significatifs, montrant à cette occasion qu'en région amazonienne un réseau de télétransmission fiable peut être installé.

La mise en place de ces stations s'est effectuée de façon bien différente de celles auxquelles les hydrologues de l'ORSTOM sont habitués en Afrique. Car les distances, ici, sont considérables (voir tableau I).

TABLEAU I

Stations hydrométriques du bassin amazonien brésilien équipées pour la télétransmission par satellite (Système ARGOS)

Numéro d'ordre	Distance de BRASILIA (km)	Rivière	Station	Lat.	Long.
A- STATIONS AVEC LIMNIGRAPHE ET CODEUR					
1	2.702	Rio Cotingo	FAZ. BANDEIRA BRANCA	05°02'N	60°30'
2	2.503	Rio Branco	BÇA VISTA	02°49'N	60°40'
3	1.922	Rio Mapuera	ESTIRAO DA ANGELICA	01°04'S	57°04'
4	1.919	Rio Trombetas	CACH. DA PORTEIRA	01°05'S	57°02'
5	1.869	Rio Parú	VISTA ALEGRE	01°03'S	56°04'
6	1.755	Rio AMAZONAS	OBIDOS	01°54'S	55°30'
7	2.837	Rio Jari	SÃO FRANCISCO	00°41'S	52°33'
8	367	Rio Araguaia	ARUANA	14°49'S	51°10'
B- STATIONS AVEC CLAVIER MANUEL					
9	2.770	Rio Ica	IPIRANGA VELHO	02°59'S	69°35'
10	2.854	Rio Japura	VILA BITTENCOURT	01°24'S	69°25'
11	2.365	Rio Purus	SERINGAL CARIDADE	09°02'S	68°34'
12	1.985	Rio Purus	ARUMA JUSANTE	04°41'S	62°07'
13	2.964	Rio Uaupés	UARAÇÚ	00°33'N	69°10'
14	2.525	Rio Negro	TAPURUQUARA	00°24'S	65°02'
15	1.652	Rio Guaropé	FEDRAS NEGRAS	12°50'S	62°56'
16	1.532	Rio Roosevelt	CONCISA	09°43'S	60°35'
17	1.660	Rio Aripuana	FRANHA VELHO	07°15'S	60°24'
18	1.259	Rio Papagaio	FONTANILHAS	11°25'S	58°39'
19	1.135	R. Telés Pires	JUS. FOZ P. AZEVEDO	09°38'S	56°15'
20	1.455	Rio Tapajós	BARRA DE S. MANUEL	07°19'S	58°05'

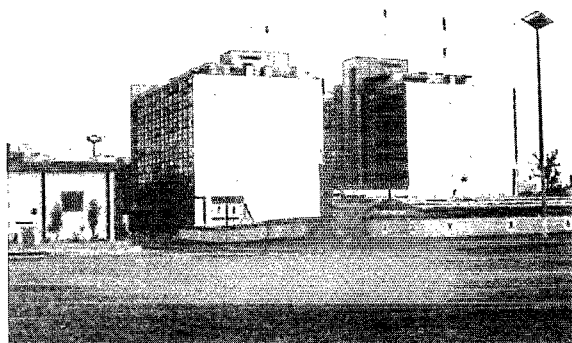


PHOTO 12. – L'Immeuble de DCRH/DNAEE à Brasília.

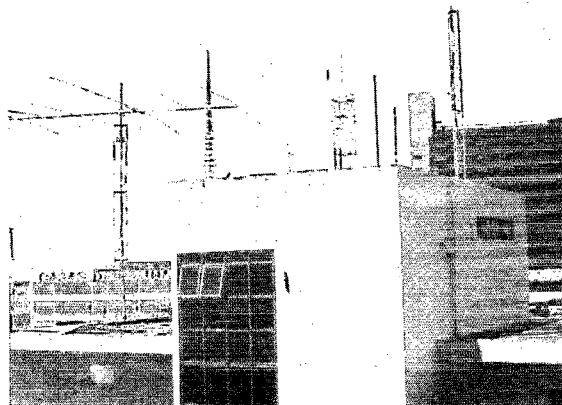


PHOTO 13. – L'antenne de réception ARGOS, au milieu des autres antennes.

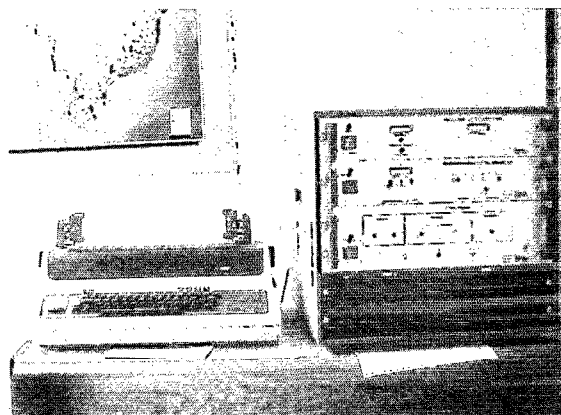


PHOTO 14. – La Station de réception ARGOS à Brasília (fabrication CEIS-Espace, à Toulouse).

Seule une station (Aruana, sur le Rio Araguaia) peut être considérée comme toute proche de Brasília : elle n'en est qu'à 465 km par la route ! Et comme cette route est goudronnée, une visite à cette station s'effectue en 2 jours.

Pour les autres, le problème est tout autre. Les 4 stations du Rio Trombetas (Obidos et 3 autres stations un peu plus au nord) nécessitent un voyage avion Brasília-Manaus-Santarem, soit près de 4 heures de vol, et ensuite un bateau pendant 5 à 6 jours. Les stations situées sur la frontière du Pérou sont, elles aussi, d'un accès long et onéreux. Dans bien des cas, il faut louer un avion-taxi, l'accès par la route étant toujours problématique.

Par contre, arrivé sur les lieux, l'infrastructure des limnigraphes permet une installation simple et rapide. Le plus long est d'installer le support de l'antenne (photo 10), c'est-à-dire percer 4 trous dans une paroi en acier inoxydable passablement dur.

Pour les balises à clavier, elles sont installées dans des caisses métalliques étanches, utilisées au Brésil pour y loger des compteurs électriques à l'extérieur des maisons. Ces caisses sont façonnées, percées et préparées de manière à n'avoir qu'à sceller le tube-support dans le sol, puis 12 heures plus tard, y installer le matériel.

Dans les 2 configurations de stations, le parfait fonctionnement de l'ensemble codeur-balise (ou clavier-balise) est vérifié avec un banc de test (photo 11), portable bien qu'un peu lourd. Il permet de visualiser (en décimal) le numéro de la balise et les valeurs capteurs (en hexadécimal). Cet appareil est vraiment très utile.

4.6. LA STATION DE RÉCEPTION DIRECTE (photo 14)

La station de réception directe, installée dans les locaux de DCRH/DNAEE/MME à Brasilia (photo 12), fonctionne depuis septembre 1984. L'antenne a été installée sur le toit de l'immeuble, au milieu d'une « forêt » d'autres antennes d'émission ou de réception (photo 13), ce qui n'est certes pas la meilleure solution.

```

FIM DE TEMPO-REAL

EDICAO TOTAL DAS MENSAGENS

PASSAGEM No: 129          SATELITE No: 2

COMEÇO DO PASSAGEM :
DIA      HORA      MINUTO      SEGUNDO
281      7         47         48

FIM DO PASSAGEM :
DIA      HORA      MINUTO      SEGUNDO
281      8         0         1

No. DOS MENSAGENS RECEBIDAS : 43

EDICAO EM HEXADECIMAL

CODIGO  NIVEL  NIVEL D'AGUA  INDICATOR  TOTAL DE ACOES DO
dBm                                     DE ESTADOS  PLUVIO. BASCULANTE

3600 -11479    00D5      0000      000
3600 -12157    00D5      0000      000

3601 -11927    014E      0000      100
3601 -11837    014E      0000      100
3601 -11927    014E      0000      100

3602 -12708    4941      0000      00F
3602 -12618    4941      0000      40F
3602 -13604    4941      0000      00F

3603 -11940    21FB      0000      000
3603 -12516    01FB      0000      000
3603 -12285    01FB      0000      000

3605 -12183    0296      0000      000

3606 -12272    0370      0000      000
3606 -12196    0370      0000      000
3606 -11504    0370      0000      000
3606 -12157    0370      0000      000

```

FIG. 2. – Message écrit par la station de réception directe de Brasilia

La station écrit, à chaque passage du satellite, les messages reçus (ceux compris dans l'intervalle des stations sélectionnées par l'opérateur) sur une imprimante (fig. 2) et sur une diskette de 8" (système d'exploitation ISIS/Intel).

La sauvegarde dans la réception des messages s'effectue en accord avec l'INPE qui reçoit lui aussi les données ARGOS sur sa station de réception de Cachoeira Paulista, située entre São Paulo et Rio de Janeiro. Cette possibilité de sauvegarde est des plus précieuses : elle s'effectue avec une réception dans la bande des 2 GHz (en multiplexage sur le canal image du satellite). Or le service ARGOS laisse entendre que la retransmission sur 137 MHz sera supprimée dans quelques années. Il reste à réaliser une liaison ordinateur-télex afin de recevoir ces messages, via Cachoeira Paulista, sans aucune recopie humaine. Des essais ont montré que INPE recevait correctement nos stations, et DCRH également celles de leur réseau pilote.

5. LES PREMIERS RÉSULTATS DE FONCTIONNEMENT DU RÉSEAU

Le réseau est opérationnel depuis mai 1985. A cette date a commencé l'introduction des hauteurs d'eau, de manière automatique, dans la Banque de données hydrométriques de DCRH/SIH (Système d'Informations Hydrométéorologiques).

5.1. DIFFICULTÉS RENCONTRÉES DANS L'EXPLOITATION DU RÉSEAU

Au bout de quelques mois de fonctionnement, plusieurs balises ont dû être remplacées car la carte « interface » occasionnait des erreurs de collecte.

D'autres difficultés sont apparues dans l'exploitation de la station de réception directe, tout incident soit sur l'imprimante, soit sur un lecteur de diskette, entraînant la perte de la collecte jusqu'à remise en route de l'ensemble. Il y eut aussi des pertes de collecte dues aux défaillances de l'alimentation électrique.

5.2. RÉSULTATS STATISTIQUES DE LA COLLECTE

Les résultats suivants concernent la période allant du 1^{er} mai 1985 au 31 mai 1986, soit 396 jours. Ils ne concernent que les jours de fonctionnement « normaux » (voir en 5.3), c'est-à-dire hors tout incident concernant soit les émetteurs, soit la station de réception. Ces résultats ne servent qu'à quantifier le fonctionnement du Système ARGOS et non celui du Réseau.

- Nombre de passages par jour

Environ 10 passages sont reçus chaque jour sur la station mais la moitié, environ, captent des « balises » qui ne sont pas du réseau amazonien.

La figure 3 donne la répartition du nombre de passages par jour reçus à Brasilia. L'analyse est basée sur un échantillon de 4 160 jours de collecte.

- dans 6 % des cas, il est reçu 7 passages et plus,
- dans 14 % des cas, il est reçu 6 passages et plus,
- dans 27 % des cas, il est reçu 5 passages et plus,
- dans 54 % des cas, il est reçu 4 passages et plus,
- dans 74 % des cas, il est reçu 3 passages et plus,
- dans 91 % des cas, il est reçu 2 passages et plus,
- pratiquement 100 % des cas il est reçu 1 passage et plus.



FIG. 3. — Nombre de passages par jour. Période : mai 1985-mai 1986

Il n'y a aucune corrélation entre le nombre de passages/jour (valeur modale du nombre de passages) et la distance de la balise à Brasilia, comme l'indique la figure 4. Les balises reçues le moins souvent sont celles situées le plus en amont, sur la frontière Brésil-Pérou. Celle reçue le plus souvent est celle de Boa-Vista, pourtant très au nord de Brasilia.

En définitive, le nombre de passages par jour est de l'ordre de 4 (valeur modale).

– Nombre de messages émis par une station durant un passage

La durée d'un passage varie entre quelques secondes et une quinzaine de minutes. Comme les « balises » émettent toutes les 2 minutes, il est possible de recevoir jusqu'à 8 messages d'une « balise » lors d'un passage. Or la répétition de messages identiques est une garantie de transmission exacte de la collecte.

L'analyse est basée sur un échantillon de 15 268 passages.

- dans 4 % des cas, les messages d'un même passage sont répétés 5 fois et plus,
- dans 13 % des cas, ils sont répétés 4 fois et plus,
- dans 31 % des cas, ils sont répétés 3 fois et plus,
- dans 58 % des cas, ils sont répétés 2 fois et plus,
- dans 42 % des cas, ils ne sont transmis qu'une seule fois.

La figure 5 indique également l'allure de la distribution.

Il y a donc une chance sur deux pour que le message soit redondant.

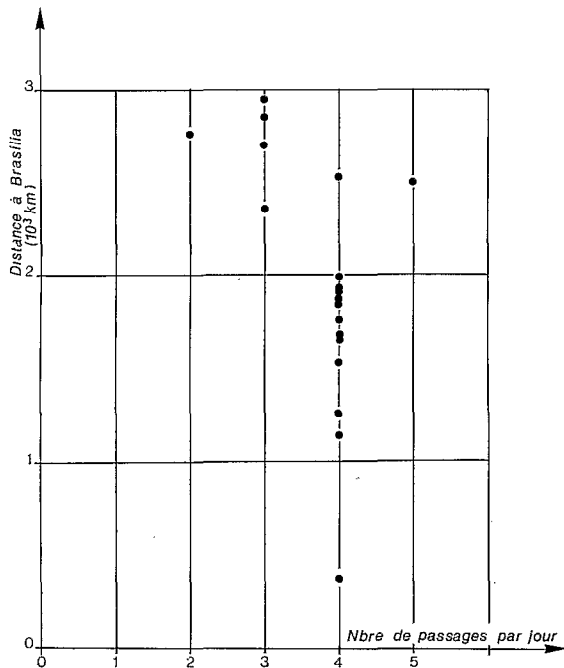


FIG. 4. – Distribution du nombre de passages par jour en fonction de la distance séparant chaque balise de la station de réception directe (installée à Brasilia)

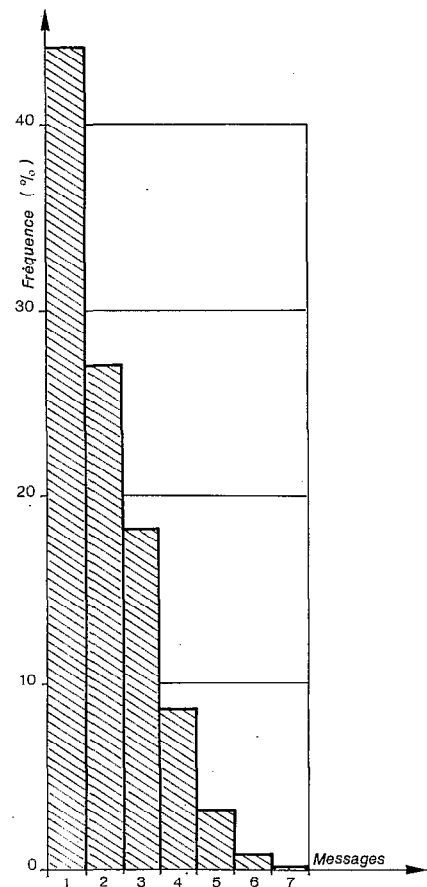


FIG. 5. – Nombre de messages d'une même balise reçus lors d'un passage

– Erreurs de transmission

3 % des messages présentent une erreur de transmission. Cette erreur est très facilement éliminée lorsqu'il y a répétition du message lors d'un même passage. Dans le cas d'un message unique, le technicien chargé de la validation de la collecte, sur ordinateur, va déceler l'erreur par comparaison aux valeurs transmises lors des passages précédents. Jusqu'à présent aucun message n'a été perdu ou inexploité et ceci depuis mai 1985.

5.3. RÉSULTATS DE FONCTIONNEMENT DU RÉSEAU

Nous entendons par là les résultats portant sur l'ensemble de la période mai 1985/86, jours de défaillance compris.

La statistique concerne 12 stations seulement, les 8 autres n'ayant pas fonctionné suffisamment longtemps pour donner des résultats significatifs.

Le nombre de jours de fonctionnement varie entre 51 % et 95 % de la période totale de fonctionnement depuis mise en route. La valeur moyenne est de 81,3 %. Ceci représente un arrêt de fonctionnement annuel de l'ordre de 68 jours, *ce qui est beaucoup trop*.

Les raisons sont multiples :

- arrêt de fonctionnement de la Station de réception,
- piles usées (mauvaise organisation des équipes de terrain pour le changement des piles),
- erreur de polarité lors du remplacement des piles,
- erreur dans la réalisation du bloc de piles,
- fonctionnement défectueux de la balise (interface défaillant),
- détérioration, naturelle ou volontaire, sur les stations hydrométriques (2 cas rencontrés en 2 ans sur 20 stations).

5.4. CONCLUSION

Ainsi il est montré que le Système ARGOS accomplit sa tâche sans grande défaillance, bien qu'une station de réception indépendante soit utilisée. Bien sûr, en employant toutes les possibilités offertes par le Service ARGOS, dont le traitement de l'information à Toulouse, nous doublerions le nombre de collectes/jour. Mais cela en vaut-il la peine, compte tenu de la nécessité d'un seul relevé journalier et du coût (et de la lenteur) de la transmission entre Toulouse et Brasília ? Certainement pas...

En ce qui concerne le nombre de jours de fonctionnement par an d'une station, là il conviendra de faire un effort, surtout dans l'exploitation du réseau sur le terrain. Certes, il est possible de remplacer les piles par des panneaux solaires, mais c'est une solution chère car les panneaux de petite puissance (1 à 2 W) n'existent pas au Brésil, obligeant à surdimensionner l'alimentation avec des panneaux inutilement importants. Les accumulateurs à faible courant d'autodécharge, indispensables pour une solution « panneaux solaires », commencent seulement à faire leur apparition. Néanmoins ce sera la solution obligatoire si les incidents de remplacement des piles se renouvellent.

La liaison télex entre l'ordinateur de l'INPE de Cachoeira Paulista et le système de traitement de DCRH devrait assurer la sauvegarde automatique de la collecte en cas de défaillance de la station de réception directe de Brasília.

Tout ceci n'est plus qu'une question de « rodage ».

6. LE TRAITEMENT INFORMATIQUE DE LA COLLECTE

Depuis mai 1985, le traitement de la collecte reçue sur la station de réception de Brasília s'effectue chaque jour sur un mini-ordinateur $\mu C10$, fabriqué au Brésil par la Société SCOPUS.

La chaîne de traitement a entièrement été conçue à Brasília par J. CALLÈDE [4] pour les besoins de ce projet.

Chaque passage de satellite, à l'exception de ceux qui ne contiennent aucune collecte concernant le réseau amazonien, est traité chronologiquement par une succession de programmes, s'enchaînant l'un après l'autre, ce qui permet de réduire l'encombrement en mémoire centrale.

Les différentes étapes du traitement permettent ainsi :

- la lecture de la diskette de la station de réception directe.
- l'extraction des informations utiles,

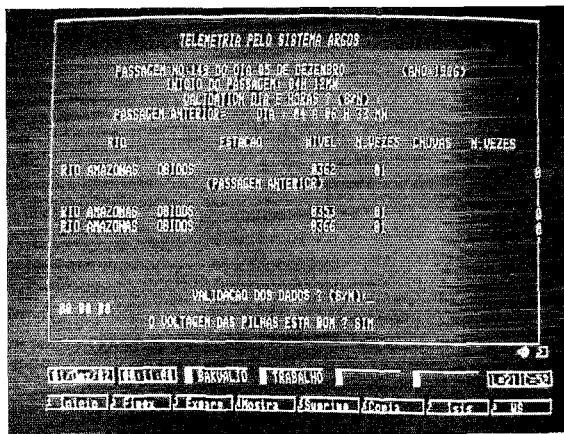


PHOTO 15. - Visualisation d'un message ARGOS sur la console du μ C10 SCOPUS.

TELETRANSMISSAO PARA O SISTEMA ARGOS					
=====					
DADOS DO REDE DA AMAZONIA					
R.TROMBETAS	ESTACAO DE CACH. DA PORTEIRA			BALIZA HUMERO 9611	
	ANO : 1985			AUTOMATICA	
	(NIVEL EM CM)				
DIA 21 DE OTUBRO					
AS HORAS 2.36	NIVEL =	353	N.MESS=	2	
AS HORAS 6.35	NIVEL =	358	N.MESS=	2	
AS HORAS 15.16	NIVEL =	371	N.MESS=	2	
AS HORAS 19. 0	NIVEL =	377	N.MESS=	1	
DIA 22 DE OTUBRO					
AS HORAS 2.25	NIVEL =	385	N.MESS=	1	
AS HORAS 6. 8	NIVEL =	388	N.MESS=	3	
AS HORAS 7.40	NIVEL =	389	N.MESS=	1	
AS HORAS 15. 5	NIVEL =	392	N.MESS=	1	
DIA 23 DE OTUBRO					
AS HORAS 2.14	NIVEL =	393	N.MESS=	3	
AS HORAS 7.24	NIVEL =	406	N.MESS=	3	
AS HORAS 14.53	NIVEL =	391	N.MESS=	3	
DIA 24 DE OTUBRO					
AS HORAS 2. 5	NIVEL =	384	N.MESS=	1	
AS HORAS 7. 1	NIVEL =	382	N.MESS=	5	
AS HORAS 14.44	NIVEL =	372	N.MESS=	3	
AS HORAS 19.29	NIVEL =	368	N.MESS=	1	
DIA 25 DE OTUBRO					
AS HORAS 3.34	NIVEL =	360	N.MESS=	1	
AS HORAS 6.37	NIVEL =	357	N.MESS=	2	
AS HORAS 19. 4	NIVEL =	345	N.MESS=	2	
DIA 26 DE OTUBRO					
AS HORAS 6.13	NIVEL =	336	N.MESS=	3	
AS HORAS 7.52	NIVEL =	335	N.MESS=	3	
AS HORAS 18.41	NIVEL =	331	N.MESS=	1	
DIA 27 DE OTUBRO					
AS HORAS 3.11	NIVEL =	319	N.MESS=	1	
AS HORAS 7.28	NIVEL =	316	N.MESS=	3	
AS HORAS 14. 7	NIVEL =	311	N.MESS=	1	
AS HORAS 15.51	NIVEL =	310	N.MESS=	1	
AS HORAS 18.17	NIVEL =	308	N.MESS=	1	
AS HORAS 19.57	NIVEL =	307	N.MESS=	2	

FIG. 6. - Tableau des hauteurs d'eau, destiné aux gestionnaires du réseau hydrométrique

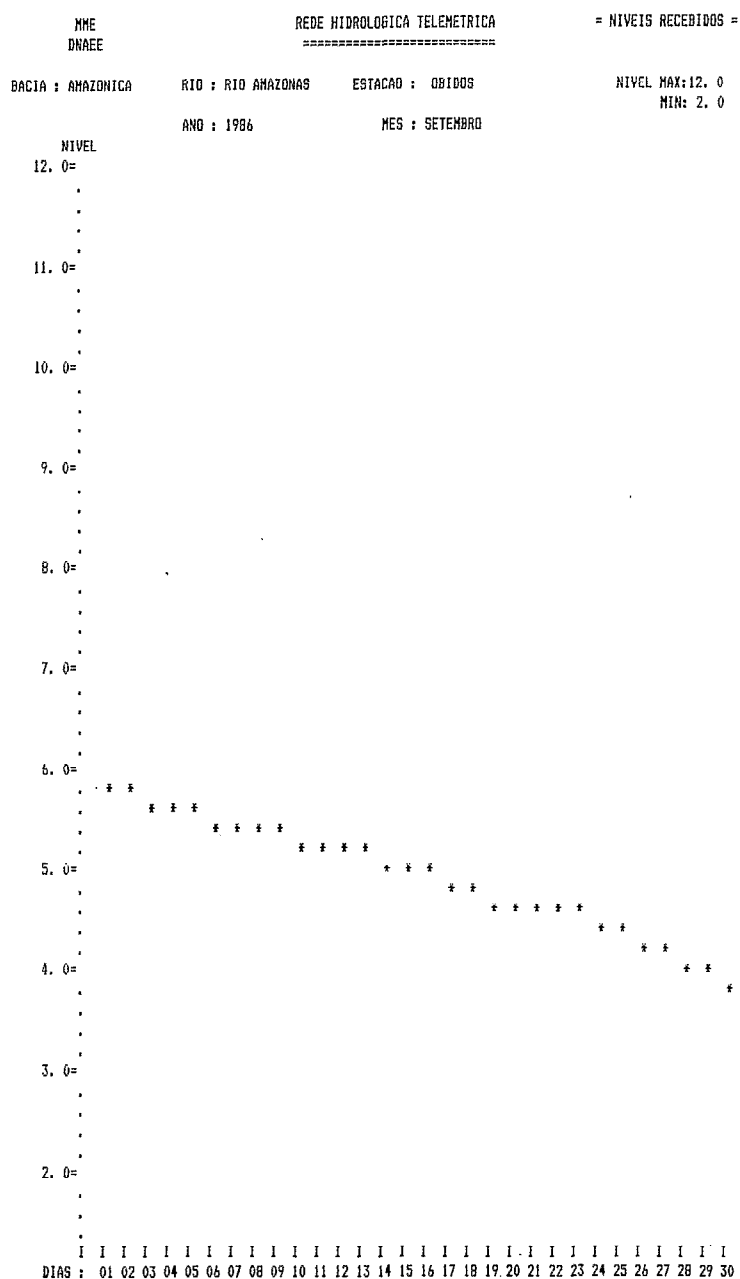


FIG. 7. - Graphique mensuel réalisé sur imprimante EPSON

- la transformation « en clair » des données brutes avec corrections appropriées,
- la visualisation de chaque passage sur la console du SCOPUS (photo 15) avec date du passage, noms de la rivière et de la station, valeurs de la hauteur d'eau (en cm) et de la pluie (en mm) avec contrôle de redondance,
- la mise à jour d'un fichier mensuel de hauteurs d'eau directement utilisable par le Système d'Informations Hydrométéorologiques (SIH) de DCRH/DNAEE. Le fichier est également utilisé pour envoyer en clair (fig. 6), tous les 10 jours, les résultats de la collecte aux gestionnaires du réseau hydrométrique. Il servira dans un proche avenir à alimenter, au jour le jour, un modèle mathématique de prévisions pour l'ensemble du bassin amazonien brésilien.

D'autres programmes permettent le contrôle des séquences, l'élimination d'enregistrements en double, etc.

Enfin, un programme de tracé graphique, sur imprimante (il n'existe pas de traceur de courbe disponible), permet la visualisation éventuelle de la variation du niveau de l'eau pour une station et un mois donné (fig. 7).

7. LA FORMATION TECHNOLOGIQUE DES TECHNICIENS BRÉSILIENS

Depuis mai 1984, l'installation, la mise en route et l'exploitation du réseau de télétransmission par satellite en Amazonie ont été effectuées par une équipe franco-brésilienne de DCRH/DNAEE/MME. L'équipe technique brésilienne chargée de ce Projet se compose de 2 ingénieurs électroniciens, 1 ingénieur hydrologue et 1 technicien. Elle s'occupe aussi bien des travaux de terrain que de bureau.

8. CONCLUSION GÉNÉRALE

Ces 20 premières stations hydrométriques du bassin amazonien représentent, en vraie grandeur, ce qui peut se faire de plus moderne dans la technique de l'hydrologie en temps réel.

Vu les dimensions de la région amazonienne, les résultats déjà acquis sont de première importance. Comparé au système hydrologique classique, il demeure bien sûr les difficultés d'accès aux stations, mais par contre, il y a une économie de temps et de déplacement des hydrologues du fait du contrôle à distance du bon fonctionnement des appareils. Il est bien entendu souhaitable que les erreurs de gestion de ces premières années ne se renouvellent pas.

Il en résultera, principalement, une diminution du coût de fonctionnement du réseau et, en même temps avec la connaissance des paramètres en temps réel, le suivi du comportement hydrologique d'un des bassins hydrographiques les plus grands du monde. Ceci confirme les prévisions des hydrologues québécois [5] qui estiment que le coût de la télétransmission par satellite est amorti en 3 années de fonctionnement par l'économie réalisée sur les frais de tournées hydrologiques.

La DNAEE, comme organisme responsable de la gestion des ressources hydriques à l'échelon national brésilien, prévoit, en raison des résultats obtenus jusqu'à maintenant en région amazonienne, d'installer dans de nombreux bassins hydrographiques du Brésil des systèmes de télétransmission du même genre. Il est prévu une extension du réseau à d'autres stations du bassin amazonien, soit à titre purement DCRH/DNAEE, soit en collaboration avec INEMET. De son côté le Ministère des Transports souhaite utiliser le réseau et l'étendre éventuellement pour faciliter, par des prévisions de hauteur d'eau, la navigation intérieure.

Il faut aussi noter l'intérêt porté à ce système par les hydrologues boliviens. En 1983, déjà, une requête avait été déposée auprès de la Communauté Économique Européenne pour assurer le financement d'un réseau de 10 stations hydrométriques du bassin de l'Amazonie bolivienne, avec une station de réception à La Paz.

Il est bien certain que la télétransmission par satellites à défilement, tels ceux du Système ARGOS, est parfaitement extrapolable à d'autres grands bassins brésiliens. L'arrivée, en 1989 (c'est-à-dire demain), du premier satellite brésilien de collecte de données ne peut que donner une impulsion supplémentaire au développement de cette technique en Amérique du Sud. Rappelons que ce satellite sera placé sur une orbite équatoriale basse (850 km), donc avec une période de retour de l'ordre de 100 minutes. Outre le Brésil et l'Amérique du Sud, ce satellite risque d'intéresser des pays comme l'Indonésie.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 14.01.1987

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CALLÈDE (J.), 1982. – Utilisation de la télétransmission par satellite pour le réseau hydrométrique brésilien. Rapport final. ORSTOM, Paris, 42 pp., 16 fig., 8 ph.
- [2] CALLÈDE (J.), CLAUDINO (L.J.), 1985. – Estação de recepção ARGOS. Manual de operação. DCRH/DNAEE, Brasília, 10 pp., 2 fig.
- [3] CALLEDE (J.), COELHO (M.B.), 1985. – Convênio DNAEE/CNPq/ORSTOM. Tabela de conversão binario puro/codigo Gray (decimal/hexadecimal/binario) e codigo Gray/binario puro. DCRH/DNAEE, Brasília, 4 pp., 42 tabl.
- [4] CALLEDE (J.), 1986. – Le traitement informatique des données reçues par les stations de réception directe du Système ARGOS : son application au bassin de l'Amazone. ORSTOM, Brasília, 32 pp., 9 ann.
- [5] PESANT (C.), 1984. – Tournée canadienne de conférences 1984. CAHSCGC, février 1984. Ministère de l'Environnement, Province du Québec, 74 pp., 10 fig., 18 tabl.

ANNEXE

Sigles utilisés et leur signification

- CNPq : Conseil National de Développement scientifique et technologique (l'équivalent du CNRS français)
- DCRH : Division de Contrôle des Ressources en Eau
- DNAEE : Département National des Eaux et de l'Énergie Électrique (dont dépend le DCRH)
- INEMET : Institut National de Recherches Spatiales (équivalent du CNES français)
- MME : Ministère des Mines et de l'Énergie (dont dépend la DNAEE, donc le DCRH)
- CSEE : Compagnie des Signaux et Entreprises Électriques
- GTS : Global Transmission System (Système international des télécommunications météorologiques)